

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-077476
 (43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.CI.

H01S 5/323
 H01L 21/205
 H01L 33/00

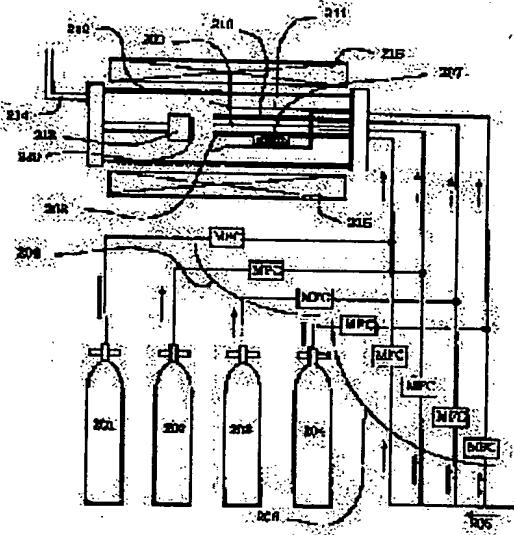
(21)Application number : 11-249670
 (22)Date of filing : 03.09.1999

(71)Applicant : SHARP CORP
 (72)Inventor : YUASA TAKAYUKI
 ISHIDA SHINYA
 TSUDA YUZO
 TANETANI MOTOTAKA

(54) NITROGEN COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF
(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance electrical characteristics of a nitrogen compound semiconductor light-emitting element by a method, where when the light-emitting element consisting of a nitrogen compound semiconductor film is formed on a nitrogen compound semiconductor substrate, an element belonging to a group VII elements is contained in the nitrogen compound semiconductor substrate as impurities.

SOLUTION: A sapphire substrate 230, grown with an undoped GaN base layer having a striped growth suppressing film, is introduced in an H-VPE apparatus. Then N₂ carrier gas 205 and NH₃ gas 204 are respectively introduced in the H-VPE unit through an introducing tube 211, while being controlled by a mass flow controller 206 and after the temperature of the substrate 230 is heated, GaCl gas is introduced on the substrate 230 through an inlet tube 208 to start the growth of the thick film of a GaN. At the same time, Cl₂ gas 202 is fed on the substrate 230 through an inlet tube 209 as impurities belonging to a group VII element, to grow a GaN film doped together Cl and Si and a nitrogen compound semiconductor substrate is obtained.

**LEGAL STATUS**

- [Date of request for examination]
- [Date of sending the examiner's decision of rejection]
- [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
- [Date of final disposal for application]
- [Patent number]
- [Date of registration]
- [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-77476

(P2001-77476A)

(43)公開日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

(51)Int.Cl.⁷H 01 S 5/323
H 01 L 21/205
33/00

識別記号

F I

H 01 S 5/323
H 01 L 21/205
33/00

テーマコード(参考)

5 F 0 4 1
5 F 0 4 5
C 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全11頁)

(21)出願番号

特願平11-249670

(22)出願日

平成11年9月3日 (1999.9.3)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 湯浅 貴之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72)発明者 石田 真也

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(74)代理人 100103296

弁理士 小池 隆彌

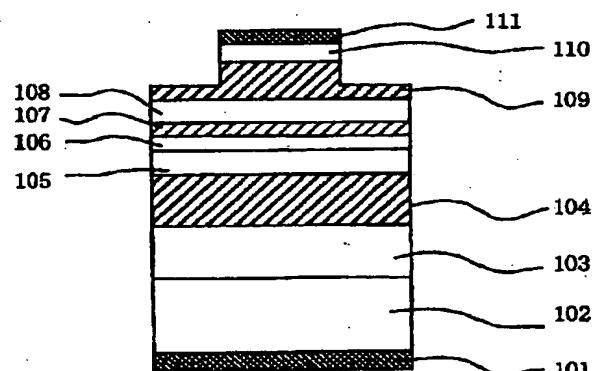
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空素化合物半導体発光素子およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 転位密度が低く、かつ基板とエピタキシャル成長膜との電気的コンタクトが良好となるエピタキシャル成長を行う基板面（以下、成長面）を有する空素化合物半導体基板を得る。これにより、電気的特性が向上し、かつ、寿命特性を損なわない発光素子を形成する。

【解決手段】 空素及びガリウムを主成分とする空素化合物半導体を基板とし、該基板上に空素化合物半導体よりなる発光素子を形成する空素化合物半導体発光素子において、前記空素化合物半導体基板中に、不純物として第VII族に属する元素を含有させる。また、電気伝導特性を制御する不純物を含有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒素及びガリウムを主成分とする窒素化合物半導体を基板とし、該基板上に窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成する窒素化合物半導体発光素子において、前記窒素化合物半導体基板中に、不純物として第VII族に属する元素を含有させることを特徴とする窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記窒素化合物半導体基板が $20 \mu\text{m}$ 以上の厚さを有することを特徴とする請求項第 1 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記窒素化合物半導体基板中に含まれる第VII族元素の濃度が基板内で $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項第 1 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 4】 前記窒素化合物半導体基板中に含有させたる第VII族に属する不純物元素として、塩素 (Cl) を使用することを特徴とする請求項第 1 項及び第 3 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 5】 前記窒素化合物半導体基板中に、電気伝導特性を制御する不純物を含有することを特徴とする請求項第 1 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 6】 前記電気伝導特性を制御する不純物として、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下のシリコン (Si) あるいはゲルマニウム (Ge) あるいはカーボン (C) あるいはセレン (Se) あるいは硫黄 (S) 、あるいは酸素 (O) を使用し、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下のClを含有することを特徴とする、請求項第 5 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 7】 前記窒素化合物半導体基板の含有する第VII族元素の濃度が、該窒素化合物半導体基板の発光素子を積層する面近傍に於いて、増加させることを特徴とする請求項第 3 項及び第 4 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 8】 前記第VII族元素が塩素であり、該塩素濃度を増加させる領域は、窒素化合物半導体基板表面から $2 \mu\text{m}$ 以下の領域で、特に該基板表から $0.05 \mu\text{m}$ の深さの領域のCl濃度は、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下、 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする請求項第 7 項記載の窒素化合物半導体発光素子。

【請求項 9】 窒素及びガリウムを主成分とする窒素化合物半導体を基板とし、該基板上に窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成する窒素化合物半導体発光素子の製造方法において、ストライプ状の成長抑制膜を有するアンドープ窒素化合物半導体下地層の上に、不純物として第VII族に属する元素を含有すると共に、電気伝導特性を制御する不純物を含有する窒素化合物半導体を成長させ、該窒素化合物半導体の上に、窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成することを特徴とする窒素化合物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒素化合物半導体基板上に作製する窒素化合物半導体発光素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、窒素化合物半導体はその特性を利用して、発光素子やハイパワーデバイスへの応用または研究がなされている。

【0003】 例えば、窒素化合物半導体発光素子を作製する場合、その構成する組成を調整することにより、技術的には紫色から橙色までの幅の広い発光素子として利用することができる。近年、その特性を利用して、青色発光ダイオードや、緑色発光ダイオードの実用化がなされ、また、半導体レーザー素子として青紫色半導体レーザーが開発されてきている。

【0004】 窒素化合物半導体膜を製造する際には、基板として、サファイア、SiC、スピネル、Si、GaAs、GaN 等の基板が使用される。例えば、基板としてサファイアを使用する場合には、GaN膜をエピタキシャル成長する前に、あらかじめ、 $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ の低温で、GaNまたはAINのバッファー層を形成し、その後、基板を $1000^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ の高温に昇温して窒素化合物半導体膜のエピタキシャル成長を行うと表面状態の良い、構造的及び電気的に良好な結晶を得ることができることが公知となっている。また、SiCを基板として使用する場合には、エピタキシャル成長を行う成長温度で薄いAIN膜をバッファー層として使用すると良いことが公知となっている。

【0005】 しかし、GaN等の窒素化合物半導体以外の基板を使用すると、成長する窒素化合物半導体膜との熱膨張係数の違いや、格子定数の違いにより、製造される窒素化合物半導体中には多数の欠陥が存在する。その密度は合計で約 $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \sim 1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 程度にもなる。

これらの転位は、電気伝導を制御するキャリアをトラップして、製造した膜の電気的特性を損ねることが知られている他、大電流を流すようなレーザーに対しては、寿命特性の劣化を招くことが知られている。

【0006】 そのため、作製する格子欠陥を低減し、かつ電気的特性を良好な状態にするために、ハイドライド気相成長法 (H-VPE) や、高圧合成法、昇華法等といった手法を用いて、 $20 \mu\text{m}$ 程度以上の厚みを有するGaN等の窒素化合物半導体厚膜を形成し、窒素化合物半導体厚膜基板として使用することが試みられている。

【0007】 この窒素化合物半導体厚膜基板を用いることにより、基板表面に到達する欠陥密度が減少し、良好な特性の発光素子が得られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前述した $20 \mu\text{m}$ を越える厚みを有し、その上にエピタキシャル成長を行う窒素化合物半導体厚膜 (以下、窒素化合物半導体基板) に於いても、C軸に垂直に延びる刃状転位が

完全に無くなることはなく、 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 程度以上の転位が存在する。これらの転位は、他の基板を使用した場合と比較して、1桁以上少ないが、特に高密度の電流注入を行うレーザダイオード（以下、レーザ）等の発光素子に対しては、発光強度と寿命特性に影響を及ぼすことが分かっている。

【0009】また、不純物をドーピングしていない窒素化合物半導体基板は、高抵抗を示すため、不純物をドーピングして、電気抵抗を下げなければならない。しかしながら、従来のように、H-VPE法等でGaN厚膜を成長するときに、GaN厚膜成長中に一定量の不純物を注入するだけでは、いくつかの問題が生じる。例えば、一定量の高不純物濃度を注入して作製した窒素化合物半導体基板を、窒素化合物半導体レーザ素子に使用した場合、閾値電圧は低下するものの、閾値電流密度は逆に増加傾向を示す。これは、結晶中の転位を通じて、窒素化合物半導体基板中にドーピングした不純物と、該基板上にエピタキシャル成長した発光素子構造を形成する膜中にドーピングした不純物との相互拡散が生じて、そのため、該窒素化合物半導体基板と、該エピタキシャル成長膜との界面で部分的に電流障壁が形成され、その影響で、発光素子の駆動電圧が高くなったり、発光素子の寿命が短くなる現象が確認されている。

【0010】また、不純物を高濃度にドーピングした窒素化合物半導体基板の表面モフォロジーは、ドーピングしていない窒素化合物半導体基板と比較して表面凹凸が大きく、そのため、その上に作製したレーザ素子の閾値電圧は低くなるものの、表面の荒れに起因する伝搬光の散乱により、閾値電流密度は大きくなる傾向を示す。

【0011】このことから、電気的特性が向上し、かつ、寿命特性を損なわない発光素子を形成するためには、転位密度が低く、かつ基板とエピタキシャル成長膜との電気的コンタクトが良好となるエピタキシャル成長を行う基板面（以下、成長面）を有する窒素化合物半導体基板を得ることが望まれていた。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、窒素化合物半導体基板の欠陥密度を減らし、窒素化合物半導体基板の成長面と、該窒素化合物半導体基板上に形成するエピタキシャル成長膜との電気的なコンタクトを適正な状態に制御することが重要である。

【0013】本発明においては、まず、窒素及びガリウムを主成分とする窒素化合物半導体を基板とし、該基板上に窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成する窒素化合物半導体発光素子において、基板上に、窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成する際に、前記窒素化合物半導体基板中に、不純物として第VII族に属する元素を含有させることを特徴としている。このことにより、イオン半径の大きな第VII族元素のイオンが、窒素化合物半導体基板を構成しているイオン半径の小さな元素

（たとえば、窒素、ガリウム、アルミニウム等）の結晶内に入り込むことで転位の結晶表面への伝搬が止まり、その結果、窒素化合物半導体基板表面の転位密度が小さくなる。本基板を使用することにより、窒素化合物半導体基板上にエピタキシャル成長された発光素子の発光強度は増大し、寿命特性が向上する。

【0014】また、前記窒素化合物半導体基板が $20 \mu\text{m}$ 以上の厚さを有することを特徴とする。このことにより、転位の結晶表面への伝搬が止まり、その結果、窒素化合物半導体基板表面の転位密度が小さくなる。

【0015】また、窒素化合物半導体基板中に含まれる第VII族に属する元素の濃度が、 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下であることを特徴としている。このことにより、転位密度低減の効果が適正化され、発光素子の発光強度及び寿命特性が向上する。

【0016】また、該窒素化合物半導体基板中に含有させる第VII族元素として、塩素(Cl)を使用することを特徴としている。このことにより、GaN基板に最も適切な状態で転位の低減を図ることができ、その結果、窒素化合物半導体基板上にエピタキシャル成長された発光素子の発光強度は増大し、寿命特性が向上する。

【0017】また、窒素化合物半導体基板中に、塩素(Cl)及び、電気伝導特性を制御する不純物を含有することを特徴としている。このことにより、塩素のドーピングが、結晶中の刃状転位を低減し、その結果、電気伝導を制御する不純物が刃状欠陥を通じてエピタキシャル成長を行った膜中に拡散される現象が減少する。そのため、窒素化合物半導体基板上にエピタキシャル成長された発光素子の電圧-電流特性、及び、寿命特性が向上する。

【0018】更に、電気伝導特性を制御する不純物として、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下のSi、またはGe、またはC、またはSe、またはS、またはO、を使用し、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下のClを含有することを特徴としている。このことにより、n型伝導特性を示す窒素化合物半導体基板中の、刃状転位低減の適正化がなされ、また、不純物拡散低減の適正化がなされる。その結果、該条件で適正化された窒素化合物半導体基板上にエピタキシャル成長された発光素子は、より電圧-電流特性及び寿命特性が向上する。

【0019】また、窒素化合物半導体基板の含有する塩素濃度が、該窒素化合物半導体基板の発光素子を積層する面近傍に於いて、増加させることを特徴としている。このことにより、窒素化合物半導体基板全体に塩素を高濃度でドーピングした場合と比較して、窒素化合物半導体基板表面の凹凸が低減できる。加えて、電気伝導を制御する不純物と混在させることにより、基板とエピタキシャル成長膜間の界面に局在するショットキー障壁の低減が図れ、その結果、エピタキシャル成長された発光素子の電圧-電流特性がより向上し、閾値電圧の低減と寿

命特性が向上する。

【0020】更に、塩素濃度を増加させる領域は、窒素化合物半導体基板表面から $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の領域であり、特に該基板表面から $0.05\text{ }\mu\text{m}$ の深さの領域の塩素濃度は、 $1\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以上、 $1\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 以下であることを特徴としている。このことにより、窒素化合物半導体基板表面の転位の低減と表面の凹凸の低減の適正化がなされ、かつ、該基板上にエピタキシャル成長した発光素子の電圧-電流特性、閾値電圧及び寿命特性の適正化がなされる。

【0021】また、窒素化合物半導体発光素子の製造方法は、窒素及びガリウムを主成分とする窒素化合物半導体を基板とし、該基板上に窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成する窒素化合物半導体発光素子の製造方法において、ストライプ状の成長抑制膜を有するアンドープ窒素化合物半導体下地層の上に、不純物として第VII族に属する元素を含有すると共に、電気伝導特性を制御する不純物を含有する窒素化合物半導体を成長させ、該窒素化合物半導体の上に、窒素化合物半導体よりなる発光素子を形成することを特徴とする。この製造方法によれば、不純物の濃度制御、濃度傾斜をすることができ、以上の手段を用いることにより、上述した課題が解決される。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明を詳細に説明する。 $20\text{ }\mu\text{m}$ を越える厚みを有し、その上にエピタキシャル成長を行うための窒素化合物半導体厚膜（窒素化合物半導体基板）を作製する方法として、H-VPE、高圧合成法、昇華法が考えられているが、大面積を分布なく成長するには、H-VPE法により、サファイア基板上に成長を行う方法が最も良好である。本実施形態では、サファイア基板上に、H-VPE法を用いて成長した厚膜のGaNを窒素化合物基板として使用した例について記述する。

【0023】まず、(0001)面を有するサファイア基板を洗浄し、MOCVD法を用いて、以下の手順で、約 $3\text{ }\mu\text{m}$ の厚みのアンドープGaN膜を下地層として成長する。即ち、洗浄したサファイア基板をMOCVD装置内に導入し、 H_2 雰囲気の中で、約 1100°C の高温でクリーニングを行う。その後、降温して、キャリアガスとして水素（ H_2 ）を $10\text{l}/\text{min}$ 流しながら、 600°C で NH_3 とトリメチルガリウム（TMG）をそれぞれ $5\text{l}/\text{min}$ 、 $20\text{mol}/\text{min}$ 導入して、約 20nm の厚みのGaN低温バッファー層を成長する。その後、一旦TMGの供給を停止し、再び約 1050°C まで昇温して、TMGを約 $100\text{mol}/\text{min}$ 導入し、1時間で約 $3\text{ }\mu\text{m}$ の厚さのアンドープGaN膜を成長する。その後、TMG及び NH_3 の供給を停止し、室温まで降温し、アンドープGaN下地層を成長したサファイア基板を取り出す。低温バッファー層としては、GaNに限らず、トリメチルアルミニウム（TMA）、TMG、 NH_3 を使用して、AlN膜やGaN膜を用いてもなんら影響はない。

【0024】次に、上記方法で作製したアンドープGaN下地層を成長したサファイア基板上に、厚膜を成長する際に、クラックが生じないように、厚さ $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 程度で、幅 $7\text{ }\mu\text{m}$ 、間隔 $10\text{ }\mu\text{m}$ のストライプ状の成長抑制膜を形成し、その上にH-VPE法で選択成長を行い、平坦なGaN厚膜を成長する。本実施例では、成長抑制膜として、スパッタリング法により蒸着した SiO_2 膜をフォトリソグラフィを用いてエッチングしたものを使用した。

【0025】以下、図2を参照して、H-VPE法によるGaN厚膜の成長方法を記述する。上述した方法で作製したストライプ状の成長抑制膜を有するアンドープGaN下地層を成長したサファイア基板230を、H-VPE装置内に導入する。図中、212はH-VPE装置の反応管であり、213は基板のサセプタである。 N_2 キャリアガス205と NH_3 （204）を、それぞれ $5\text{l}/\text{min}$ マスフローコントローラ206で制御しながら導入管211より導入し、基板の温度を約 1050°C まで昇温する。その後、基板上に GaCl を導入管208より $100\text{cc}/\text{min}$ 導入してGaNの厚膜の成長を開始する。

【0026】その際、キャリアガスを混合しても構わない。 GaCl は約 850°C に保持されたGa金属207に HCl ガス201を流すことにより生成される。また、基板近傍まで単独で配管してある不純物ドーピングラインを用いて不純物ガスを流すことにより、任意に成長中に不純物のドーピングを行うことができる。本実施形態では塩素（Cl）をドーピングする目的で、成長を開始すると同時に、 Cl_2 ガス202を導入管209より $100\text{ccl}/\text{min}$ 供給した。この際の厚膜GaN中のCl濃度は、 $2\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ であった。尚、Clのドーピングには、 Cl_2 ガス以外に、 HCl ガスを用いてもよい。また、シリコン（Si）を同時にドーピングする際には、シラン（ SiH_4 ）203、モノクロロシラン（ SiH_3Cl ）や、ジクロロシラン（ SiH_2Cl_2 ）、トリクロロシラン（ SiHCl_3 ）、シリコンテトラクロライド（ SiCl_4 ）、ヘキサクロロジシラン（ Si_2Cl_6 ）等、を使用してもよい。Siもまた、独立して導入するための導入管210を有している。本実施形態では、Clに加えて、 SiH_4 を $100\text{nmol}/\text{min}$ 供給した。この際の厚膜GaN中のSi濃度は、 $2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ であった。

【0027】このようにして、ClとSiを共ドープしたGaN膜（102）を成長した。Cl及びSiのドーピングはキャリアガスと混合して流しても構わない。Gaポート近傍の温度と、基板設置部分の温度は、ヒータ215により独立して制御が可能で、未反応ガス及びキャリアガスは排気口214を通じて除害装置に経由して放出される。上記方法で、3時間の成長を行い、膜厚の合計が約 $350\text{ }\mu\text{m}$ の厚さのGaNを成長し、窒素化合物半導体基板を得た。尚、窒素化合物半導体基板を成長する際に用いたサファイア基板は研磨等により除去しても構わない。ここで、窒素化合物半導体基板の厚みは、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上あれば窒素化合物半導体基板上に成長する発光素子の特性が本発明の効果により向上する。そして窒素化合物半導体基板の厚さ

の上限は発光素子を結晶成長する上での制限はないが、厚すぎると、電極形成、リッジ形成、僻開等のプロセスが困難になるため1mm以下が望ましく、更に好ましくは0.5mm以下が望ましい。

【0028】以上の様にして得られた窒素化合物半導体基板上に、MOCVD法により発光素子構造を成長する。以下、サファイア基板を研磨により除去した窒素化合物半導体基板上に青紫色レーザ構造を成長した例について、図1を参照しながら記述する。

【0029】まず、上述した方法で得られた窒素化合物半導体基板102をMOCVD装置内に導入し、N₂とNH₃をそれぞれ5l/min流しながら約1050℃まで昇温する。温度が上がれば、キャリアガスをN₂からH₂に代えて、TMGを100μmol/min、SiH₄を10nmol/min導入して、n型のGaN膜(103)を約4μm成長する。その後、TMGの流量を50μmol/minに調整し、TMAを40μmol/min導入して、n型のAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(104)を0.5μmの厚さで成長する。クラッド層の成長が終了すると、TMAの供給を停止し、TMGを100μmol/minに調整して、n型のGaN光伝搬層(105)を0.1μmの厚さになるように成長する。

【0030】その後、TMGの供給を停止して、キャリアガスをH₂からN₂に再び代えて、700℃まで降温し、インジウム原料であるトリメチルインジウム(TMI)を10μmol/min、TMGを15μmol/min導入し、In_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる4μm厚の障壁層を成長する。その後、TMIの供給を50μmol/minに増加し、In_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる2μm厚の井戸層を成長する。井戸層は合計3層、同様の手法で成長を行い、井戸層と井戸層との間及び両側には合計4層の障壁層が存在するような多重量子井戸(MQW)(106)を成長する。MQWの成長が終了すると、TMI及びTMGの供給を停止して、再び1050℃まで昇温し、キャリアガスを再びN₂からH₂に代えて、TMGを50μmol/min、TMAを30μmol/min、p型ドーピング原料であるビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を10nmol/min流し、20nm厚のp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nキャリアプロック層(107)を成長する。

【0031】キャリアプロック層の成長が終了すると、TMAの供給を停止し、TMGの供給量を100μmol/minに調整して、0.1μmの厚さのp型光伝搬層(108)を成長する。その後、TMGの供給を50μmol/minに調整し、TMAを40μmol/min導入し、0.4μm厚のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(109)を成長し、最後に、TMGの供給を100μmol/minに調整して、TMAの供給を停止し、0.1μm厚のp型GaNコンタクト層(110)の成長を行い発光素子構造の成長を終了する。成長が終了すると、TMG及びCp₂Mgの供給を停止して降温し、室温でMOCVD装置より取り出す。

【0032】本レーザ構造を有する膜の最表面(成長終端面)の表面荒さの平均値(Ra)は約10nmであり、大変良好な平坦性を示した。

【0033】その後、ドライエッティング装置を用いて、p型GaNコンタクト層を5μm幅のストライプ状に残して、50

p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層までエッティングを行い、光導波路を形成した後、p型GaNクラッド層部分にAu/Pd電極(111)を、また、GaN厚膜基板の裏面に、Al/Ti電極(101)をそれぞれ形成し、最後に劈開あるいはドライエッティング法を用いて素子長が約1mmとなるようにして、ミラーとなる端面を形成した。

【0034】以上により、図1に示す窒素化合物半導体を用いた青紫色の発光波長を有するレーザが作製できる。本実施形態で作製したレーザは、発振の閾値電圧(V_{op})が約5V、閾値電流密度(J_{th})が1kA/cm²であり、同様の条件で、塩素をドーピングしていない窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザと比較して、2kA/cm²の電流注入時の発光強度は約1.5倍明るかった。また、Clを基板にドーピングしていないレーザは、連続して500時間以上発振を継続させていると、光出力が急激に低下する現象が生じてきたが、Clをドーピングした基板を使用した本実施例に示すレーザは、約1000時間の経過しても、特性の変化は見られなかった。

【0035】本実施形態においては、含有させる第VII族に属する不純物として、Clを使用した例について記述した。本傾向は、フッ素(F)、臭素(Br)、ヨウ素(I)等、他のVII不純物を使用した場合においても同様に、転位の低減に効果があることが確認されている。但し、VII族元素の中で、最も効果的に転位低減に作用する不純物はClであった。

【0036】上記実施形態では、サファイア基板上に窒素化合物半導体基板を成長後、該サファイア基板を研磨してから、前記窒素化合物半導体基板上に窒素化合物半導体発光層を積層した例について示したが、前記工程でサファイア基板を研磨せずに、サファイア基板の付いた窒素化合物半導体基板を用いて窒素化合物半導体発光層を積層しても、あるいは、窒素化合物半導体発光層を積層した後に、該サファイア基板を除去しても本発明と同様の効果が得られた。また、窒素化合物半導体基板としては、該厚膜GaNだけでなく、他の組成の窒素化合物半導体(A_{1-x}G_xA_yI_{1-x-y}N:0≤x≤1, 0≤y≤1)から構成された厚膜基板であれば、本実施形態と同じ効果を示す。さらに、窒素化合物半導体構成元素のうち、窒素元素の一部(10%程度以下)をP、As、Sbで置換した材料を用いても同様の効果が得られた。上記実施形態の実施例について以下に示す。

【0037】(実施例1)本実施例では、実施形態で示す方法で作製したレーザに於いて、窒素化合物半導体基板成長時のCl不純物ドーピング量を変化させた場合のレーザ特性について記述する。上記実施形態で示す方法において、H-VPEで作製するGaN厚膜基板成長時のClドーピング量のみを変化させ、他の条件を実施形態と同様の条件で図1に示すレーザを作製し、その特性比較を行った。

【0038】まず、実施形態と同様の方法で作製した、

ストライプ状の成長抑制膜を有するアンドープGaN下地層を成長したサファイア基板をH-VPE装置内に導入し、N₂キャリアガスとNH₃をそれぞれ5l/min流しながら、基板の温度を約1050°Cまで昇温する。その後、基板上に、GaClを実施形態に示した方法で、100cc/min導入してGaNの成長を開始する。成長を開始すると同時に、SiH₄ガス及びCl₂ガスを供給し、膜中に含まれるSi濃度が2×10¹⁸cm⁻³で、Cl濃度が①0cm⁻³、②1×10¹⁵cm⁻³、③2×10¹⁶cm⁻³、④2×10¹⁸cm⁻³、⑤1×10²⁰cm⁻³、及び⑥2×10²⁰cm⁻³になるように供給して、Si及びCl共ドープした窒素化合物半導体基板を350μmの厚さに成長する。その後、実施形態と同様の方法を用いて、レーザ構造を成長し、プロセスを経てレーザを作製した。

【0039】このようにして作製したレーザに発振閾値電流の約1.5倍程度の電流密度である1.5kA/cm²を流し、発光強度の時間変化を調査した結果を図3に示す。図3中、301、302、303、304、305、及び306はそれぞれCl濃度が、2×10¹⁶cm⁻³、2×10¹⁸cm⁻³、1×10¹⁵cm⁻³、0cm⁻³、1×10²⁰cm⁻³、及び2×10²⁰cm⁻³の窒素化合物半導体基板を使用したレーザの特性である。本図をみると、Clを全くドーピングしていない窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザの特性(304)よりも適量のClをドーピングして作製した窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザの特性(301、302、303、305)の方が、経過時間に対しての光出力の変化量が少なく、寿命特性が良くなっていることがわかる。

【0040】また、過剰にClを加えた場合には、寿命特性(306)は逆に悪くなる傾向を示している。詳細な検討の結果、本例のように、Si等の電気伝導を制御する不純物と共にドープした際には、Cl濃度は1×10¹⁵cm⁻³以上、1×10²⁰cm⁻³以下で顕著な効果があった。この図から最適値が2×10¹⁶cm⁻³にあり、ここにピークがあることが分かる。

【0041】同様の検討を窒素化合物半導体基板内に含まれるSi量を変化させて測定した。実施形態に示す方法で、窒素化合物半導体基板を成長する際、SiH₄導入量を調整し、窒素化合物半導体基板内に含まれるSi量が5×10¹⁶cm⁻³、1×10¹⁷cm⁻³、5×10¹⁷cm⁻³、1×10¹⁸cm⁻³、2×10¹⁸cm⁻³、5×10¹⁸cm⁻³、1×10¹⁹cm⁻³、5×10¹⁹cm⁻³、1×10²⁰cm⁻³、5×10²⁰cm⁻³、1×10²¹cm⁻³、5×10²¹cm⁻³、及び1×10²²cm⁻³になるように調整し、各々の窒素化合物半導体基板にCl濃度が2×10¹⁶cm⁻³になるようにドーピングを行い、各々の窒素化合物半導体上に図1に示す構造のレーザを作製し、光出力が-20%となる時間を寿命として、その寿命特性測定した。

【0042】同様に、Clを含まないが全く同構造で、同量のSi不純物を含む窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザの寿命特性を測定した。その比較を行った結果を図4に示す。図4に於いて、波線(寿命特性が1の線)はClを全く含まないでSi濃度を変えて作製した窒

素化合物半導体基板上に作製したレーザの寿命特性を1として規格したものである。この波線より上部にある点においては、Clのドーピングが寿命特性に良い影響を与えている事を示している。図4をみると、窒素化合物半導体基板内に含まれるSi濃度が1×10¹⁷cm⁻³以上で、5×10²⁰cm⁻³以下の範囲において、Clドーピングが効果的であることがわかる。この窒素化合物半導体基板内のSi濃度範囲は、該基板のCl濃度が1×10¹⁵cm⁻³から1×10²⁰cm⁻³の範囲内で変えても同じであった。

【0043】(実施例2) 本実施例では、電気伝導を制御する元素として、Si以外に、Ge、C、Se、S、Oを使用した例について記述する。VII族不純物として、Clを2×10¹⁶cm⁻³含有するように制御し、Ge、C、Se、S、O濃度がそれぞれ、2×10¹⁸cm⁻³になるように制御して、ClとGe、ClとC、ClとSe、ClとS、ClとOの組み合わせで、窒素化合物半導体基板を作製し、その上にレーザ構造を成長し、上述したプロセスを経てレーザを作製した。窒素化合物半導体基板はいずれもn型の電気伝導特性を示した。

【0044】本実施例で示したGe、C、Se、S、Oの不純物はいずれもVII族不純物であるClの影響で、窒素化合物半導体基板内での拡散は生じず、そのため良好な電圧-電流特性を示し、Clを含有させていない窒素化合物半導体基板上に作製したレーザと比較して、寿命特性が良好であった。本傾向は、特に、Si、Ge、CのIV族元素を使用した場合に顕著な効果を示した。

【0045】本実施例では、Ge、C、Se、S、Oのドーピング原料として、ゲルマン(GeH₄)、メタン(CH₄)、セレン化水素(SeH₂)、水素化硫黄(SH₂)、酸素(O₂)を使用して、窒素化合物半導体基板を作製した。しかし、他に同様のドーピング効果のある原料であれば、特に支障はない。

【0046】(実施例3) 本実施例では、上記実施形態で示す方法で作製したレーザに於いて、窒素化合物半導体基板成長時のCl不純物ドーピング量を、成長終端面近傍で増加させて作製した窒素化合物半導体基板を使用してレーザを作製した場合の特性について記述する。

【0047】実施形態で示す方法において、H-VPEで作製する窒素化合物半導体基板成長時のClドーピングプロファイルのみを変化させ、他の条件を実施形態と同様の条件で作製したレーザを作製し、その特性比較を行った。まず、上記実施形態と同様の方法で作製した、ストライプ状の成長抑制膜を有するアンドープGaN下地層を成長したサファイア基板をH-VPE装置内に導入し、N₂キャリアガスとNH₃をそれぞれ5l/min流しながら、基板の温度を約1050°Cまで昇温する。その後、基板上に、GaClを実施形態に示した方法で、100cc/min導入してGaNの成長を開始する。成長を開始すると同時に、SiH₄ガス及びCl₂ガスをそれぞれ不純物濃度が、2×10¹⁸cm⁻³、1×10¹⁶cm⁻³になるように供給して、窒素化合物半導体基板の

成長を開始する。

【0048】成長が終了する10秒、30秒、60秒、5分前にCl₂ガス流量を任意の流量に変化させて、膜厚の合計が、350μmの厚さの窒素化合物半導体基板を成長する。

【0049】図5に、塩素のドーピング量と表面の凹凸の関係を示す。図5に於いて、501、502、503、504はそれぞれ、基板表面からの深さが0.3μm、1μm、2μm、10μmの位置からClドーピング量を増加させた場合の窒素化合物半導体基板の表面凹凸の関係を示す。図5に示すように、窒素化合物半導体基板表面から10μm、及び2μmの深さからClを増加させた際には、Clドーピング量が増加するに従って、窒素化合物半導体基板の表面凹凸が顕著に大きくなることが分かる。

【0050】反面、窒素化合物半導体基板表面から1μm、及び0.3μmの位置からCl濃度を増加させた場合には、基板表面近傍のCl濃度は高くなるにもかかわらず、表面の凹凸は小さく、安定した表面状態が得られている。

【0051】このように、窒素化合物半導体基板を成長後、実施形態と同様の方法を用いて、レーザ構造を成長し、プロセスを経て図1に示すレーザを作製した。

【0052】図6に本方法を用いて作製したレーザの電圧-電流特性を示す。図6に於いて、601は本実施例に示す方法を用いて、窒素化合物半導体基板表面から1μmの深さの位置から、Clドーピング量を $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ に増加させて作製した窒素化合物半導体基板を使用したレーザ素子の電圧-電流特性であり、602はClドーピング量を $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ のままで成長を行つて作製した窒素化合物半導体基板を使用したレーザ素子の電圧-電流特性である。図6をみると、明らかに窒素化合物半導体基板の表面近傍のCl濃度を増加させることにより、電圧-電流特性が向上し、閾値電圧が減少していることが分かる。これは、窒素化合物半導体基板表面の塩素濃度を上げることにより、表面凹凸を悪化させずに、窒素化合物半導体基板とその上に成長するレーザ構造を有する層構造との電気的コンタクトが良好に行われるようになったためであると考えられる。

【0053】また、図6に於いて、601及び602の電圧-電流特性を示すレーザ素子に、発振閾値電流の約1.5倍程度の電流密度である1.5kA/cm²を流し、発光強度の時間変化を調査した結果を図7に示す。図7中、701及び702は、図6中それぞれ601及び602の電圧-電流特性を示す素子の寿命特性である。図7から分かるように、寿命に関して、窒素化合物半導体基板の基板表面近傍のCl濃度を増加させることにより良好な特性を示すことが分かる。

【0054】詳細な検討の結果、塩素濃度を増加させる領域は、窒素化合物半導体基板表面から2μm以下で寿命特性の向上が得られた。その際、窒素化合物半導体基板表面以外の領域でのCl濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下が特

に良好な寿命特性が得られた。また、電圧-電流特性（中でも、操作電圧の低減）には、特に窒素化合物半導体基板の最表面近傍での塩素濃度に依存している事がわかっている。窒素化合物半導体基板の表面から0.05μmの位置での塩素濃度と、レーザの操作電圧の関係を図13に示す。図13によると、窒素化合物半導体基板表面から0.05μmの位置での塩素濃度が $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下で操作電圧の低減が見られる。また、更に望ましくは、基板表面から0.05μmの深さでの領域での塩素濃度が $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ で特に顕著な寿命特性の向上がみられた。

【0055】（実施例4）本実施例では、図8に示す構造のレーザを作製した例について報告する。図8では、上記実施形態で示した方法と同様に、H-VPE法によりClをドーピングした窒素化合物半導体基板を成長行う。但し、本基板内には、直接電流を流さないので、電気伝導を制御するためのSiやMg等の不純物をドーピングする必要はない。実施形態に示したように、Cl₂ガスを100ccl/min.の流量で導入しながら、3時間で約350μm厚みのClドープのGaNよりなる窒素化合物半導体基板を成長した。その後、上記実施形態と同様に、MOCVD法によりレーザ構造を形成する各層を成長し、ドライエッティング装置を用いてリッジを形成し、リッジ部分にAu/Pdよりなる電極を形成する。また、n側の電極を形成するためドライエッティング装置を用いて、n型GaN膜(103)までエッティングを行い、n型GaN膜が露出した部分にAl/Tiよりなる電極を形成し、レーザ素子を作製する。

【0056】本実施例に示したように、Clを含む窒素化合物半導体基板を使用して成長したレーザ素子は、Clの転位低減効果によりレーザ素子内の転位密度は、同様の方法で作製したClをドーピングしていない窒素化合物半導体基板上に成長したレーザと比較して、約1桁以上少なかった。この転位低減の効果によりレーザ素子の寿命特性は約2倍向上した。

【0057】尚、本実施例で示したレーザは、窒素化合物半導体を成長するための元基板（例えば、サファイア等）を研磨により除去したものを使用した例について記述したが、本構造に於いては、基板の下部（窒素化合物半導体基板で、気相成長法によりレーザ構造を成長する反対側の面）に電極を設ける必要が無いため、絶縁物であるような元基板を除去する必要は特に無い。

【0058】また、その場合でも、Clの効果で転位密度が低減するためには、少なくとも20μm以上の厚みがあることが必要である。また、厚みが20μmを越える場合には、膜中に発生するクラックを防止するために、成長抑制膜上への選択成長技術を用いることが有効であり、転位低減の効果が増長される。

【0059】図9に元基板を研磨せずに、Clをドーピングした50μm厚みの窒素化合物半導体基板(102)上に作製したレーザの概略図を示す。サファイア等の元基板11

5、GaNあるいはAlNよりなる20nm程度の厚みの低温バッファー層112、エピタキシャル成長を行った3μm程度の厚さを有するGaN膜113及びSiO₂等の材料よりなる成長抑制膜114は研磨せずにそのままではあるが、その場合でも、窒素化合物半導体基板内のClの効果で転位密度が低減するために寿命特性はClをドーピングしていない同構造のレーザと比較して1.5倍程度向上した。

【0060】図9の構造になるように作製したレーザにおいて、発振閾値電流の約1.5倍程度の電流密度である1.5kA/cm²を流し、発光強度の時間変化を調査した結果10を図12中、311、312、313、314、315及び316はそれぞれCl濃度が、2×10¹⁶cm⁻³、2×10¹⁸cm⁻³、2×10¹⁴cm⁻³、0cm⁻³、2×10²⁰cm⁻³及び4×10²⁰cm⁻³の窒素化合物半導体基板を使用したレーザの特性である。本図をみると、Clを全くドーピングしていない窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザの特性

(314)よりも適量のClをドーピングして作製した窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザの特性(311、312、313、315)の方が、経過時間に対しての光出力の変化量が少なく、寿命特性が良くなっていることがわかる。また、過剰にClを加えた場合には、寿命特性(316)は逆に悪くなる傾向を示している。本効果は、種々の検討の結果、Cl濃度が窒素化合物半導体基板内で2×10¹⁴cm⁻³以上、2×10²⁰cm⁻³以下で効果があることがわかった。更に望ましくは、Cl濃度が1×10¹⁵cm⁻³以上、1×10¹⁷cm⁻³以下で顕著な効果が得られた。

【0061】(実施例5)本実施例では、実施例3の方法で、図8に示す構造でレーザを作製する際、使用する窒素化合物半導体基板の基板表面付近のCl濃度を高くした例について記述する。

【0062】実施例3同様に、H-VPE法によりClをドーピングした窒素化合物半導体基板を成長する。まず、窒素化合物半導体基板の成長開始時から、Cl₂を10cc1/minの流量で導入し(この際、基板内にとり込まれるCl濃度は5×10¹⁵cm⁻³であった)、窒素化合物半導体基板の成長が終了する30秒前にCl₂ガス導入量を10cc/minから、5.00cc/minに増加させ、合計で3時間で350μm厚みになるように窒素化合物半導体基板を成長する。このようにして成長した窒素化合物半導体基板を使用して作製したレーザは、実施例3で示したレーザと同等程度にまで転位密度が低減されていた。また、本実施例で作製したレーザは、素子の表面の凹凸が実施例3で示したものと比較して、半分程度に小さく、そのため、レーザのガイド層を伝搬する光の分散が小さくなり、発振する閾値電流が約20%程度低減できた。

【0063】窒素化合物半導体基板内の塩素は、基板全体にわたって、少なくとも2×10¹⁴cm⁻³程度の濃度以上あることが転位低減に効果的であり好ましかったが、特に基板全体に渡ってドーピングを行っておかなくても、基板表面から2μmまでの深さまでは、少なくとも1×150

016cm⁻³以上の濃度の塩素があれば、塩素ドーピングの効果は発揮された。

【0064】図10に窒素化合物半導体基板表面近傍に於いて、Cl濃度を変化させて作製した窒素化合物半導体基板を使用しレーザを作製して、効果が確認できた例をいくつか記述する。図10中、1001は、窒素化合物半導体表面近傍から浅い領域(～0.1μm程度)に於いて、高濃度に(5×10¹⁸cm⁻³程度)Cl濃度を増加させてドーピングした事例である。また、1002は窒素化合物半導体基板表面近傍から深い領域(2μm程度)に於いて、低い濃度にCl濃度を増加させてドーピングした事例である。また、1003は、窒素化合物半導体基板近傍で傾斜的にCl濃度を増加させた事例である。また、1004は窒素化合物半導体基板表面近傍にのみClをドーピングした事例である。また、図10には記述していないが、窒素化合物半導体基板の表面近傍でのみClを傾斜的に増加させた場合や、窒素化合物半導体基板の表面近傍で2段階あるいは3段階以上にCl濃度を変化させて増加する場合なども同様に効果が確認できた。

【0065】尚、上述した実施例においては、全て発光素子としてレーザを作製した例について記述したが、発光ダイオードに対しても有効な方法である。図11に、発光ダイオードの一例を示す概略図を示す。図11中、1101はAl/Ti電極等の材料よりなるn型オーム電極、1102はClとSiをドーピングしたn型特性を示す窒素化合物半導体基板、1103は約4μm程度の厚さを有するSiをドーピングしたn型GaN膜、1104は数nmの厚さを有するInGaNの複数層よりなる発光層、1105は約20nmの厚さを有するp型のAlGaNよりなるキャリアプロック層、1106は約0.1μmの厚さを有するMgをドーピングしたp型GaN膜、1107はAu/Pd等よりなるp型オーム電極である。

【0066】更に、本願は結晶内の転位が影響する電子デバイスには全て効果があることが期待できる。また、窒素化合物半導体基板の厚みについては、20μm以上あれば窒素化合物半導体基板上に成長する発光素子の特性は本発明の効果により向上する。窒素化合物半導体基板の厚さの上限は発光素子を結晶成長するまでの制限はないが、厚すぎると、電極形成、リッジ形成、僻開等のプロセスが困難になるため1mm以下が望ましく、更に好ましくは0.5mm以下が望ましい。

【発明の効果】以上のように、本発明によると、20μm以上の厚さを有する窒素化合物半導体基板上に、発光素子を形成する際、該窒素化合物半導体基板内に不純物としてVII族元素を含む事により、該基板上に成長する発光素子の結晶欠陥が低減し、その効果で発光素子の寿命特性が向上する。また、該窒素化合物半導体基板中に電気伝導を制御する不純物と同時に含ませることにより、電気伝導を制御する不純物の拡散の現象が減少し、電圧-電流特性及び寿命特性が向上する。更に、表面近傍の塩

素濃度を所定の値に上げることにより、該窒素化合物半導体基板上に成長した発光素子の表面凹凸を上げずに、転位の低減を図ることができ、更に電圧-電流特性の向上を図ることが可能となり寿命特性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施形態により製造した窒素化合物半導体レーザの一例である。

【図 2】本実施形態により窒素化合物半導体基板を製造する際に使用した厚膜製造装置の概略図である。

【図 3】濃度を変えて塩素をドーピングした窒素化合物半導体基板を用いて作製したレーザ素子の寿命特性である。

【図 4】窒素化合物半導体基板内のSi濃度と寿命特性を規格して比較した例である。

【図 5】窒素化合物半導体基板表面近傍に濃度を変化させて塩素をドーピングした際の窒素化合物半導体基板の表面の凹凸を表わすグラフである。

【図 6】本実施例を用いて作製したレーザの電圧-電流特性を示すグラフである。

【図 7】本実施例を用いて作製したレーザの寿命特性を示すグラフである。

【図 8】本実施例により製造した窒素化合物半導体レーザの一例である。

【図 9】本実施例により製造した窒素化合物半導体レーザの一例である。

【図 10】効果が確認できた窒素化合物半導体基板中の塩素濃度の一例を示すグラフである。

【図 11】本実施例により製造した発光ダイオードの一例である。

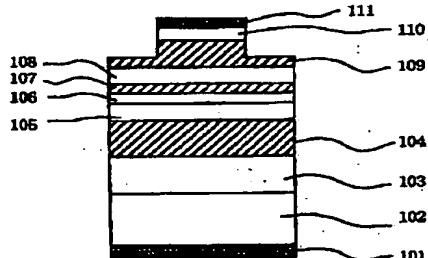
【図 12】本実施例を用いて作製したレーザの寿命特性を示すグラフである。

【図 13】本実施例により製造した窒素化合物半導体レーザの窒素化合物半導体基板表面近傍の塩素濃度と操作電圧を示すグラフである。

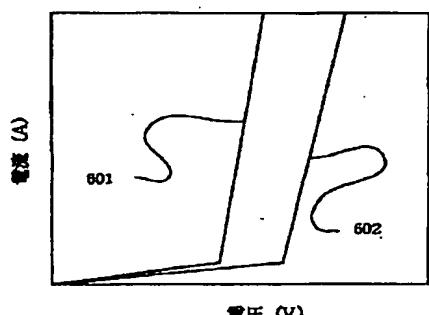
【符号の説明】

- 101 Al/Ti電極
- 102 窒素化合物半導体基板
- 103 n型GaN膜
- 104 n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層
- 105 n型GaN光伝搬層
- 106 多重量子井戸
- 107 p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ キャリアプロック層
- 108 p型光伝搬層
- 109 p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層
- 110 p型GaNコンタクト層
- 111 Au/Pd電極

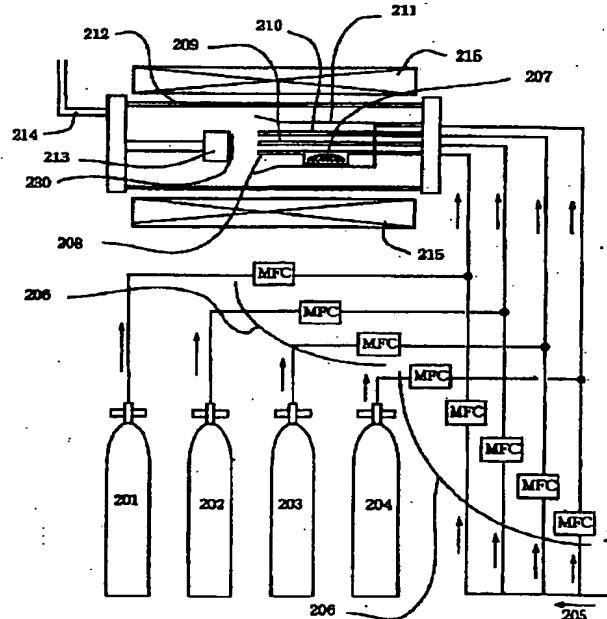
【図 1】



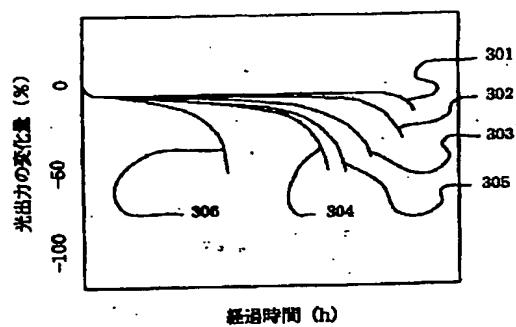
【図 6】



【図 2】

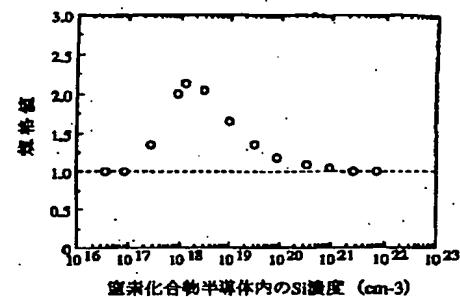


【図3】

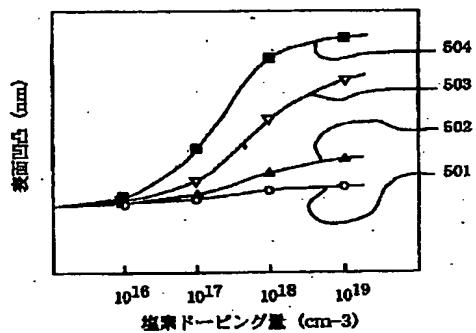


経過時間 (h)

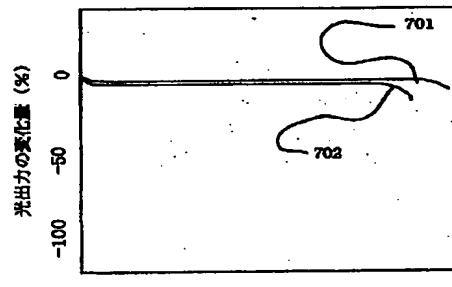
【図4】

窒素化合物半導体内のSi濃度 (cm⁻³)

【図5】

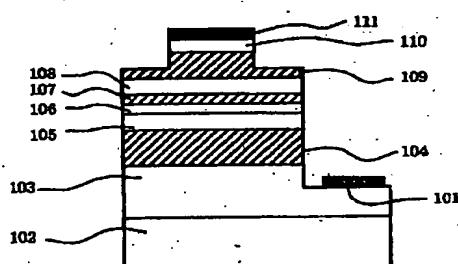
塩素ドーピング量 (cm⁻³)

【図7】

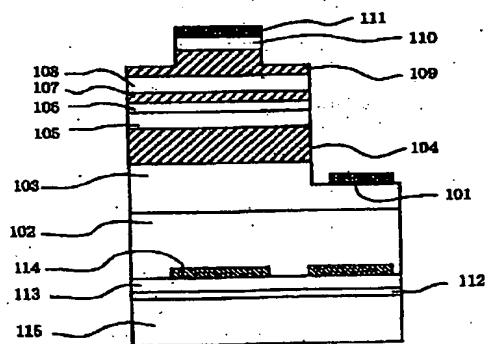


経過時間 (h)

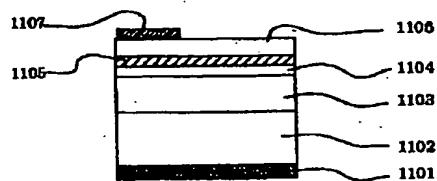
【図8】



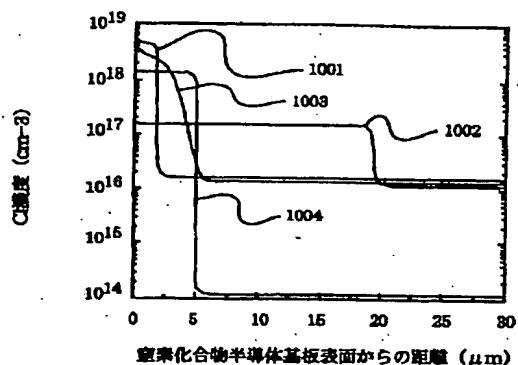
【図9】



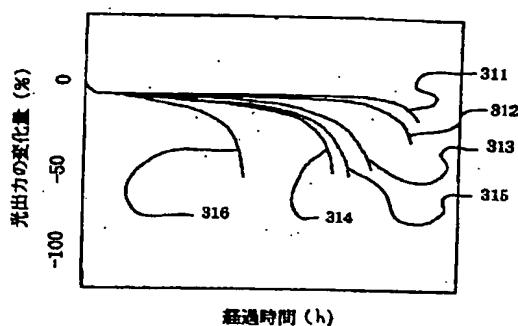
【図11】



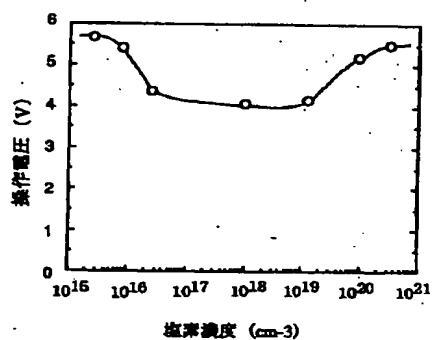
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72) 発明者 津田 有三
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内
(72) 発明者 種谷 元隆
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

Fターム (参考) 5F041 AA03 AA40 AA44 CA04 CA05
CA34 CA40 CA46 CA54 CA56
CA57 CA58 CA65
5F045 AA04 AB14 AB17 AB18 AB32
AC01 AC03 AC08 AC12 AC13
AC15 AC19 AD10 AD14 AF04
AF09 AF11 AF13 AF20 BB12
BB16 CA10 CA12 DA53 DA55
DA58 DA59 DQ06 DQ08 EB15
EE12
5F073 AA13 AA51 AA74 CA07 CB05
CB19 DA05 EA23 EA28 EA29